

## Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-4-91-106>

## Комплексный анализ рисков грузового порта на основе логико-вероятностного и имитационного моделирования

И.О. Бондарева<sup>1</sup> ✉

<sup>1</sup> Астраханский государственный технический университет,  
ул. Татищева 16, г. Астрахань 414056, Российская Федерация

✉ e-mail: i.o.bondareva@gmail.com

### Резюме

**Цель исследования.** Повышение эффективности работы грузового порта с точки зрения предотвращения наступления рискованных ситуаций на основе разработки инструментария комплексного анализа рисков грузового порта путем интеграции логического, вероятностного и имитационного моделирования.

**Методы.** Представлена структурная модель риска недостижения стратегической цели грузового порта, дополненная несколькими уровнями рассмотрения, разработана модель сценариев всех имеющихся значимых рисков, предложена гибридная логико-вероятностная модель риска недостижения основной стратегической цели порта, позволяющая связать воедино технологию формализации рисков с помощью построенных логических и вероятностных моделей, а также имитационное моделирование, интерпретация результатов которого возможна с использованием ЛВ-моделей и сценариев.

**Результаты.** На основе поставленной цели исследования и сформулированных задач были построены различные виды моделей наступления рискованных событий грузового порта. Предложенные модели позволяют осуществить комплексный анализ риска недостижения стратегической цели грузового порта на основе сценарной формализации рисков различных уровней, а также упростить процесс интерпретации результатов имитационного моделирования с учетом внешних факторов влияния. Всё это позволит вырабатывать своевременные обоснованные управленческие решения.

**Заключение.** На основании поставленной задачи предложена формализация рисков различного уровня и взаимосвязей между ними с использованием логико-вероятностного моделирования, позволяющая на основе комплексного анализа риска недостижения стратегической цели грузового порта с использованием интерпретации результатов имитационного моделирования формулировать управленческие решения.

**Ключевые слова:** структурная модель риска; модель сценариев рисков; логическая модель; вероятностная модель; имитационное моделирование; гибридная логико-вероятностная модель; концептуальная логико-вероятностная модель.

**Конфликт интересов.** Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Для цитирования:** Бондарева И.О. Комплексный анализ рисков грузового порта на основе логико-вероятностного и имитационного моделирования // Известия Юго-Западного государственного университета. 2020; 24(4): 91-106. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-4-91-106>.

Поступила в редакцию 23.09.2020

Подписана в печать 12.10.2020

Опубликована 30.12.2020

# Comprehensive Risk Analysis of a Cargo Port Based on Logic-Probabilistic and Simulation Modeling

Irina O. Bondareva<sup>1</sup> ✉

<sup>1</sup> Astrakhan State Technical University  
16 Tatishchev str., Astrakhan 414056, Russian Federation

✉ e-mail: i.o.bondareva@gmail.com

## Abstract

**Purpose of research.** Improvement of the effectiveness of the cargo port from the point of view of preventing the occurrence of risk situations based on the development of tools for a comprehensive risk analysis of a cargo port by integrating logical, probabilistic and simulation modeling.

**Methods.** It is presented a structural model of the risk of failure to achieve the strategic goal of a cargo port, supplemented by several levels of consideration, a model of scenarios of all existing significant risks is developed, a hybrid logical-probabilistic model of the risk of failure to achieve the main strategic goal of the port is proposed, which makes it possible to link together the technology of formalizing risks using the constructed logical and probabilistic models, as well as simulation modeling, the interpretation of the results of which is possible using LP-models and scenarios.

**Results** Various types of models for the occurrence of risk events in the cargo port were built based on the set research goal and the formulated tasks. The proposed models make it possible to carry out a comprehensive analysis of the risk of failure to achieve the strategic goal of a cargo port based on the scenario formalization of risks of various levels, and also to simplify the process of interpreting the results of simulation modeling taking into account external factors of influence. All this will allow you to develop timely informed management decisions.

**Conclusion.** The formalization of risks of various levels and the interrelationships between them using logical-probabilistic modeling is proposed on the basis of the task, which allows formulating management decisions based on a comprehensive analysis of the risk of failure to achieve the strategic goal of the cargo port using the interpretation of the results of simulation modeling.

**Keyword:** structural risk model; risk scenario model; logical model; probabilistic model; simulation modeling; hybrid logical-probabilistic model; conceptual logical-probabilistic model.

**For citation:** Bondareva I. O Comprehensive Risk Analysis of a Cargo Port Based on Logic-Probabilistic and Simulation Modeling. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2020; 24(4): 91-106 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-4-91-106>.

Received 23.09.2020

Accepted 12.10.2020

Published 30.12.2020

\*\*\*

## Введение

Перспективным инструментом анализа рисков событий и ситуаций, возникающих в процессе функционирования крупных предприятий транспортной логистики, включая грузовые пор-

ты, с целью предотвращения нежелательных событий является предсказание и оценка вероятности их наступления. С точки зрения управления наибольший интерес представляет комплексный

анализ рисков недостижения целей, поставленных организацией, в том числе основной стратегической цели. Комплексность анализа заключается в рассмотрении деятельности организации не только с точки зрения экономической эффективности, но и возможности многостороннего анализа с фокусировкой на интересы и особенности всех вовлекаемых в данный процесс сторон.

В ходе анализа публикаций, посвященных данной проблематике, были изучены работы Недосекина А.О., Петрова А.Н., Грищенко О.В., Вяцковой Н.А., Балдина К.В. [1-5], посвященные теории управления рисками и предлагающие различные механизмы их оценки и выявления. Риски в этих работах рассматривают исключительно в финансовом аспекте, что не позволяет реализовать необходимость комплексного анализа. Обладающая такой возможностью технология управления рисками структурно-сложных экономических и социальных систем и процессов с использованием логико-вероятностного моделирования подробно рассмотрена в публикациях Соложенцева Е. Д., Митягина С. А., Алексеева В.В., Карасева В.В [6-10]. Исследования в области оценки рисков с помощью имитационного моделирования рассматриваются в работах Антохиной Ю.В., Баранова А.В., Байрамуковой Е. И., Марченко Р.С. [11-13]. Однако специфичность исследуемой предметной области диктует необходимость разработки логико-вероятностных и имитационных моделей, описывающих

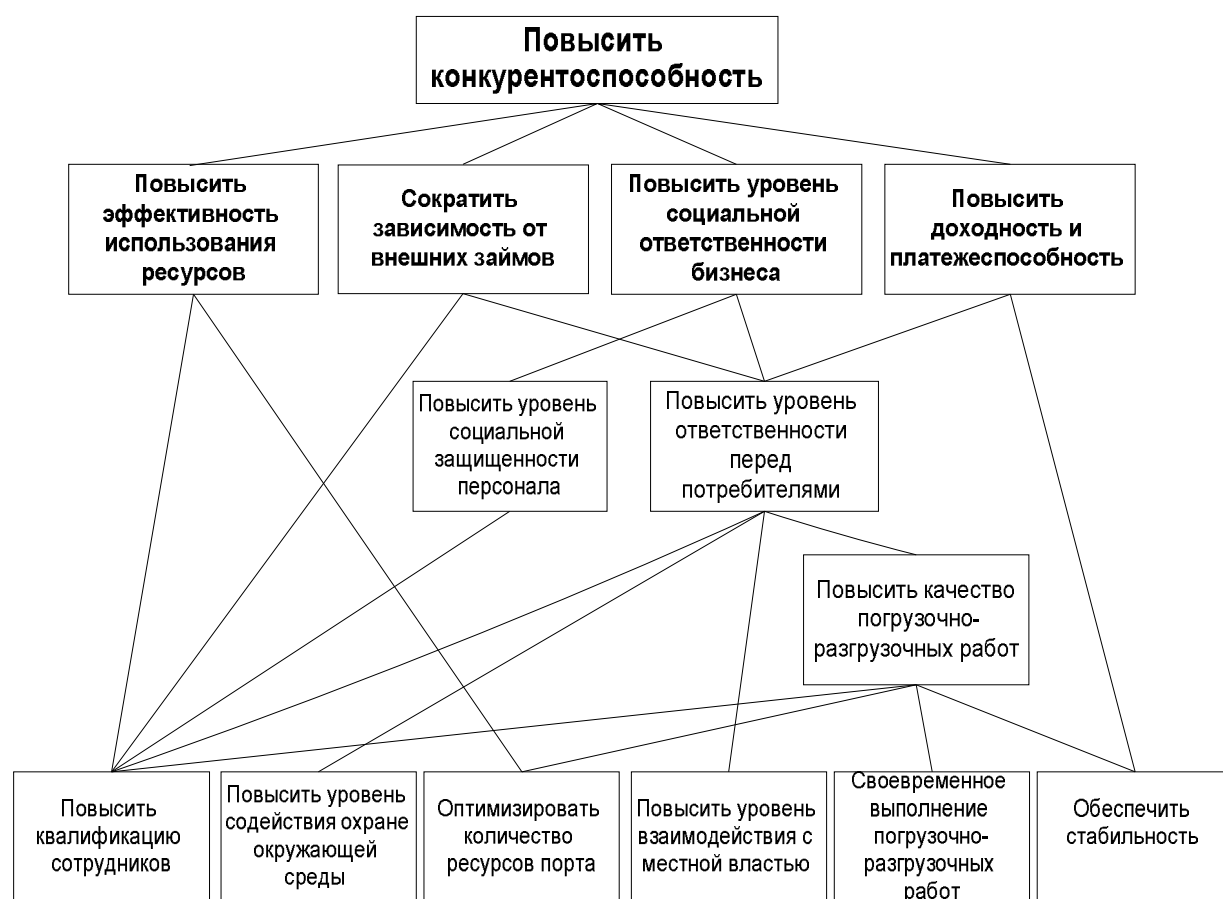
непосредственно рассматриваемый логистический объект – грузовой порт. Технологии оценки рисков порта посвящена работа Попитченко М.А. [14]. Имеющиеся работы по использованию имитационного моделирования для оценки рисков грузового порта таких ученых, как Григорьев О.В., Латыпова Э.А. [15-16] рассматривают каждый риск в отдельности и не содержат в себе информации об их взаимозависимости. Также в этих работах нет описания технологии интерпретации результатов имитационного моделирования с целью выработки управленческих решений по предотвращению наступления рискованных ситуаций. Работ, посвященных интеграции логико-вероятностного и имитационного моделирования, выявлено не было. **Цель работы** – повышение эффективности работы грузового порта на основе разработки инструментария комплексного анализа рисков грузового порта путем интеграции логического, вероятностного и имитационного моделирования.

### Материалы и методы

Основные направления управленческой деятельности грузового порта представлены на разработанном дереве целей грузового порта (рис. 1), позволяющем сформулировать взаимозависимость рисков грузового порта, рассматриваемых как недостижение целей порта. Были выделены наиболее значимые цели, степень влияния которых на основную стратегическую цель «Повышение конкурентоспособности грузового

порта» является наибольшей. Исходя из опыта анализа влияния целей на основную цель предложено было агрегировать их, таким образом, что цель «Повысить

уровень ответственности перед потребителями» включает в себя все цели, связанные с работой с клиентами.



**Рис. 1.** Дерево целей грузового порта

**Fig. 1.** Cargo port target tree

Предлагается технология оценки и анализа риска неуспеха решения сложной проблемы «Повышение конкурентоспособности грузового порта». Для данной задачи используется гибридная ЛВ-модель риска (рис. 2.), объединяющая сценарии риска для субъектов и объектов, так как внешние и внутренние субъекты представляют определенный интерес в данной работе. Неудача достижения стратегической цели  $SG$  за-

висит от субъектов  $S (S_1, S_2, S_3, \dots, S_5)$  и объектов – целей  $G (GN_1, GN_2, \dots, GN_4)$ , детализирующих основную цель, выбранную в качестве сложной проблемы. Таким образом, осуществляется более детализированная работа с деревом целей грузового порта для построения логико-вероятной (ЛВ) модели риска недостижения основной стратегической цели грузового порта. Субъекты определяют, кто решает поставленную про-

блему, а объекты – какие более мелкие цели связаны с проблемой  $SG$ . С точки зрения осуществления управленческой функции грузового порта и на основе наличия той или иной степени вовлеченности, а также заинтересованности в решении обозначенной проблемы выделим следующие субъекты:  $S_1$  – руководство порта,  $S_2$  – клиенты порта,  $S_3$  – органы местного самоуправления,  $S_4$  – население, не являющееся клиентами порта,  $S_5$  – сотрудники порта.

Объектами-целями являются компоненты  $G$ :  $GN_1$  – сократить зависимости от внешних займов,  $GN_2$  – повысить эффективность использования ресурсов,  $GN_3$  – повысить уровень социальной ответственности бизнеса,  $GN_4$  – повысить доходность и платежеспособность.

Обозначим  $SG$ ,  $S$  и  $G$  как события, а  $S_1, S_2, \dots, S_5, GN_1, GN_2, \dots, GN_4$  как соответствующие им Л-переменные.

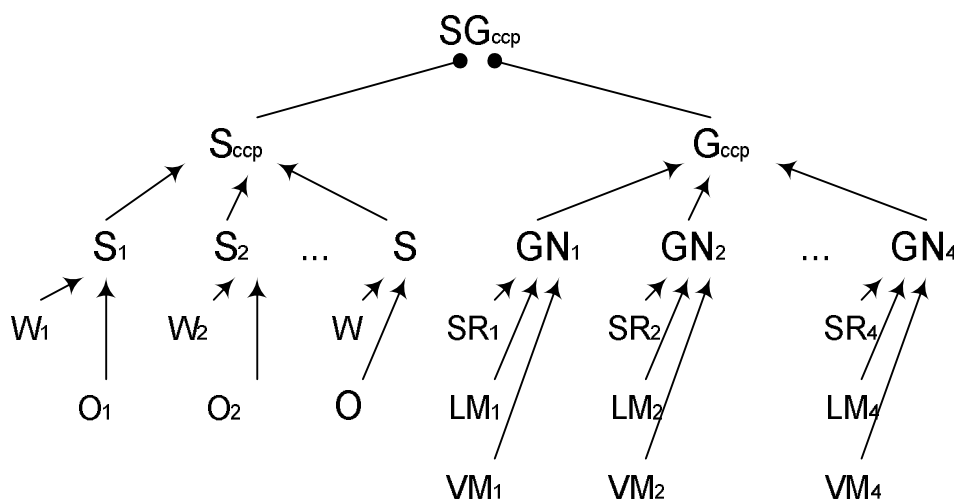


Рис. 2. Структурная модель риска недостижения стратегической цели грузового порта

Fig. 2. Structural model of the risk of failure to achieve the strategic goal of the cargo port

В модели риска неуспеха решения данной сложной проблемы сценарий события неуспеха проблемы  $SG$  формулируется следующим образом: неуспех события  $SG$  происходит из-за неуспеха событий  $S$  И (логическое) событий  $G$ .

Увеличение риска недостижения основной стратегической цели грузового порта происходит из-за недостижения любой одной цели, ИЛИ из-за недо-

стижения любых двух целей, ... ИЛИ из-за недостижения всех целей.

В данном случае логические функции (Л-модель) неуспеха событий принимают вид:

$$SG_{cpr} = S_{cpr} \wedge G_{cpr};$$

$$S_{cpr} = S_1 \vee S_2 \vee \dots \vee S_5;$$

$$G_{cpr} = GN_1 \vee GN_2 \vee \dots \vee GN_4.$$

Выразим вероятностные функции (В-модель) неуспеха событий:

$$P\{SG_{cpr} = 0\} = P\{S_{cpr} = 0\} + P\{G_{cpr} = 0\}(1 - P\{S_{cpr} = 0\});$$

$$P\{S_{ccp} = 0\} = P\{S_1 = 0\} + P\{S_2 = 0\}(1 - P\{S_1 = 0\}) + P\{S_3 = 0\}(1 - P\{S_1 = 0\}) \times \\ \times (1 - P\{S_2 = 0\}) + P\{S_4 = 0\}(1 - P\{S_1 = 0\})(1 - P\{S_2 = 0\})(1 - P\{S_3 = 0\}) + P\{S_5 = 0\} \times \\ \times (1 - P\{S_1 = 0\})(1 - P\{S_2 = 0\})(1 - P\{S_3 = 0\})(1 - P\{S_4 = 0\});$$

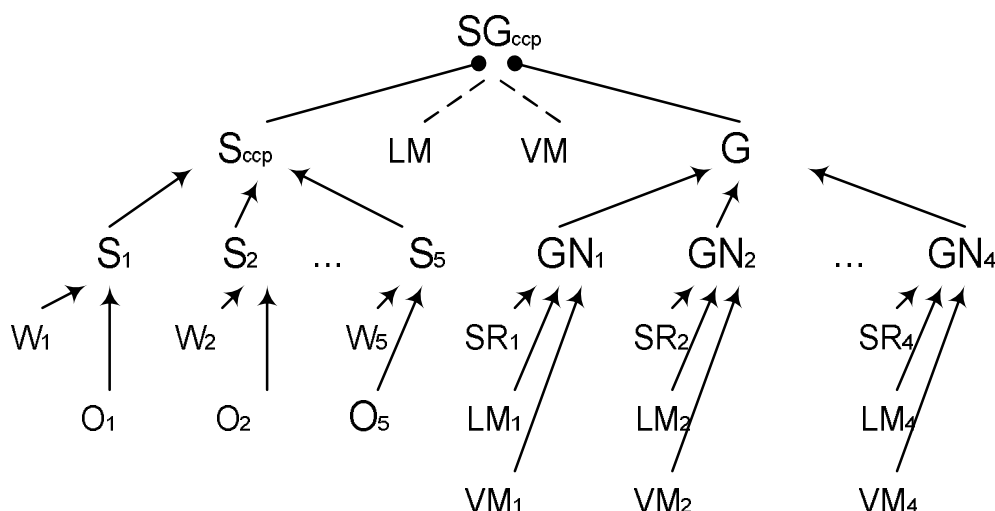
$$P\{G_{ccp} = 0\} = P\{GN_1 = 0\} + P\{GN_2 = 0\}(1 - P\{GN_1 = 0\}) + P\{GN_3 = 0\} \times \\ \times (1 - P\{GN_1 = 0\})(1 - P\{GN_2 = 0\}) + P\{GN_4 = 0\}(1 - P\{GN_1 = 0\}) \times \\ \times (1 - P\{GN_2 = 0\})(1 - P\{GN_3 = 0\}).$$

Целям  $GN_1, GN_2, \dots, GN_4$  соответствуют ЛВ-модели риска. Согласно концепции применения гибридных ЛВ-моделей риска для каждой  $i$ -ой цели ( $GN_i$ ) необходимо последовательно построить сценарий риска ( $SR_i$ ), Л-модель ( $LM_i$ ) и В-модель ( $VM_i$ ).

Представленные выше логическая и вероятностная модели описывают риск на самом верхнем уровне, риск недостижения стратегической цели порта, а описание и детализация субъектов и объектов-целей по сути представляет собой сценарий на верхнем уровне. Это

позволяет отследить многоуровневость представленной ЛВ-модели.

В качестве сценариев рисков недостижения целей  $GN_1, GN_2, \dots, GN_4$  предлагается использовать элементы построенного и описанного выше дерева целей грузового порта для четкого понимания причинно-следственных связей. Таким образом, для более детальной проработки вопроса анализа рисков грузового порта предполагается построение многоуровневой структурной модели, каждый новый уровень которой повышает степень детализации.



**Рис. 3.** Многоуровневая структурная модель риска недостижения стратегической цели грузового порта

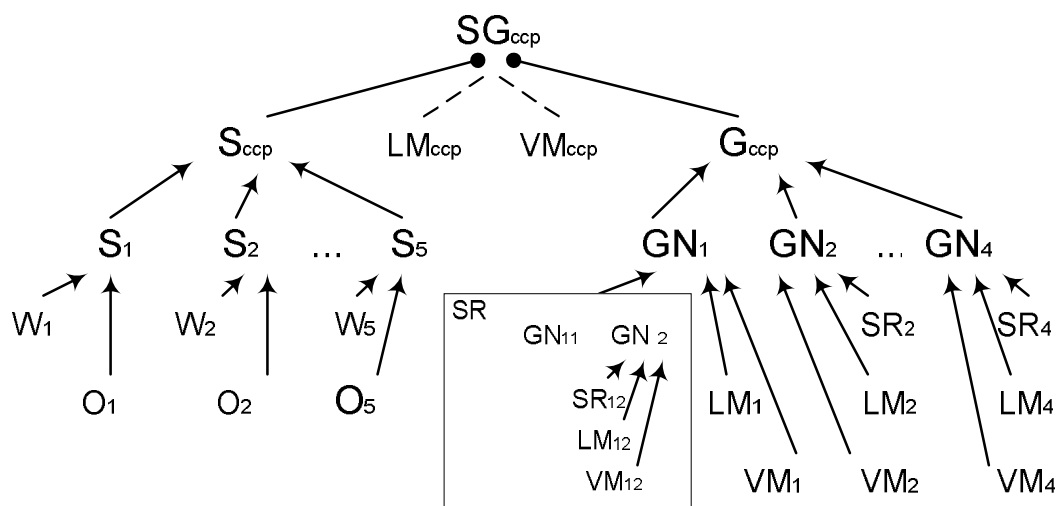
**Fig. 3.** Multilevel structural model of the risk of failure to achieve the strategic goal of the cargo port

Так, например, для цели  $GN_1$  (сократить зависимость от внешних зай-

мов) детализирующими целями следующего уровня являются: повысить ква-

лификацию сотрудников и повысить уровень ответственности перед потребителями. Обозначим их логическими переменными  $GN_{11}$  и  $GN_{12}$  соответственно. Исходя из этого, можно, дета-

лизируя сценарий  $SR_1$ , представить структурную модель риска недостижения стратегической цели грузового порта следующим образом:



**Рис. 4.** Многоуровневая структурная модель риска недостижения стратегической цели грузового порта (детализация сценария  $SR_1$ )

**Fig. 4.** Multilevel structural model of the risk of failure to achieve the strategic goal of the cargo port (detailing the  $SR_1$  scenario)

Аналогичные рассуждения применим к оставшимся целям. Для цели  $GN_2$  детализирующими целями следующего (третьего) уровня являются: описанная ранее  $GN_{11}$  и  $GN_{21}$  – оптимизировать количество ресурсов порта. Для  $GN_3$  –  $GN_{12}$ , представленная выше в описании цели  $GN_1$ , и  $GN_{31}$  – повысить уровень социальной защищенности персонала. И наконец, цель  $GN_4$  детализируют  $GN_{12}$  и  $GN_{41}$  – обеспечить стабильность сбытовой работы. Таким образом, на основе полученных сценариев можно сформулировать логические функции (Л-модели) неуспеха событий второго уровня, т.е. недостижения целей  $GN_1$ ,  $GN_2$ , ...,  $GN_4$  ( $LM_1$ ,  $LM_2$ , ...,  $LM_4$  соответственно):

$$GN_1 = GN_{11} \vee GN_{12};$$

$$GN_2 = GN_{11} \vee GN_{21};$$

$$GN_3 = GN_{12} \vee GN_{31};$$

$$GN_4 = GN_{12} \vee GN_{41}.$$

Выразим вероятностные функции (В-модели) неуспеха тех же событий ( $VM_1$ ,  $VM_2$ , ...,  $VM_4$ ) соответственно:

$$\begin{aligned} P\{GN_1=0\} &= (P\{GN_{11}=0\} + \\ &+ [P\{GN_{12}=0\}(1-P\{GN_{11}=0\})]; \\ P\{GN_2=0\} &= (P\{GN_{11}=0\} + \\ &+ [P\{GN_{21}=0\}(1-P\{GN_{11}=0\})]; \\ P\{GN_3=0\} &= (P\{GN_{12}=0\} + \\ &+ [P\{GN_{31}=0\}(1-P\{GN_{12}=0\})]; \\ P\{GN_4=0\} &= (P\{GN_{12}=0\} + \\ &+ [P\{GN_{41}=0\}(1-P\{GN_{12}=0\})]. \end{aligned}$$

На основе полученных выражений конкретизируем и расширим вероятностную функцию недостижения стратегической цели порта, введя в нее цели третьего уровня. После упрощения получим следующее выражение:

$$\begin{aligned} P\{G_{ссп}=0\} &= P\{GN_{11}=0\} - (P\{GN_{11}=0\} - 1) \times \\ &\times [P\{GN_{12}=0\} + (P\{GN_{12}=0\} - 1) \times \\ &\times [P\{GN_{12}=0\} - 1] (P\{GN_{11}=0\} - \\ &- [P\{GN_{11}=0\} P\{GN_{21}=0\} + (P\{GN_{21}=0\} + \\ &+ [P\{GN_{11}=0\} - 1]^2 (P\{GN_{12}=0\} - 1) \times \\ &\times [P\{GN_{21}=0\} - 1] \times ((P\{GN_{12}=0\} - \\ &- [P\{GN_{12}=0\} P\{GN_{31}=0\} + [P\{GN_{31}=0\} + \\ &+ P\{GN_{12}=0\} - 1) + (P\{GN_{12}=0\} - 1) \times \\ &\times P\{GN_{22}=0\} - 1) (P\{GN_{31}=0\} - 1) \times \\ &\times [P\{GN_{12}=0\} - (P\{GN_{12}=0\} \\ &[P\{GN_{41}=0\} + P\{GN_{41}=0\})). \end{aligned}$$

После приведения подобных по  $P\{GN_{12}=0\}$  получаем следующий результат:

$$\begin{aligned} P\{G_{ссп}=0\} &= P\{GN_{11}=0\} - (P\{GN_{11}=0\} - 1) \times \\ &\times [P\{GN_{12}=0\} + (P\{GN_{12}=0\} - 1) \times \\ &\times [P\{GN_{11}=0\} (P\{GN_{11}=0\} - 1) \times \\ &\times [P\{GN_{21}=0\} + (P\{GN_{31}=0\} - \\ &- (P\{GN_{31}=0\} - 1) \times [P\{GN_{12}=0\}] + \\ &+ (P\{GN_{22}=0\} - 1) [P\{GN_{31}=0\} - 1] \times \\ &\times ((P\{GN_{41}=0\} - (P\{GN_{41}=0\} - 1) \times \\ &\times (P\{GN_{12}=0\}))]. \end{aligned}$$

Рассмотрим следующий (третий) уровень целеполагания. Его представляет декомпозиция цели  $GN_{12}$  на следующие:  $GN_{11}$ ,  $GN_{121}$  – повысить уровень содействия охране окружающей среды,  $GN_{122}$  – повысить уровень взаимодействия с

местной властью,  $GN_{123}$  – повысить качество погрузочно-разгрузочных работ. Все остальные цели третьего уровня, являясь замыкающими целями заключительных уровней детализации рассматриваемых отдельных ветвей дерева целей, не могут быть дополнены ни сценарием, ни ЛВ-моделью. Схема всех используемых в рамках данной задачи сценариев представлена на рис. 5.

На основе сценария риска недостижения цели  $GN_{12}$  сформулируем логические функции (Л-модели) неуспеха данного события третьего уровня, т.е.  $LM_{12}$ :

$$GN_{12} = GN_{11} \vee GN_{121} \vee GN_{122} \vee GN_{123}.$$

Выразим  $VM_{12}$  – вероятностную функцию (В-модель) неуспеха события достижения цели  $GN_{12}$ :

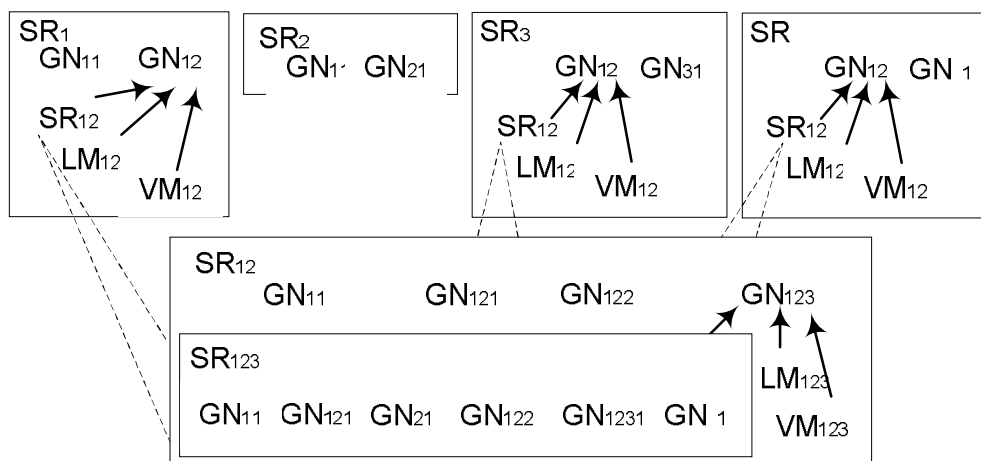
$$\begin{aligned} P\{GN_{12}=0\} &= (P\{GN_{11}=0\} + P\{GN_{121}=0\} \times \\ &\times (1 - P\{GN_{11}=0\}) + [P\{GN_{122}=0\} \times \\ &\times (P\{GN_{11}=0\}) (1 - P\{GN_{121}=0\}) + \\ &+ (P\{GN_{123}=0\} (1 - (P\{GN_{11}=0\})) \times \\ &\times [1 - P\{GN_{121}=0\}) (1 - P\{GN_{122}=0\})]. \end{aligned}$$

Заключительный четвертый уровень целеполагания представляет декомпозиция цели  $GN_{123}$ . Достижение данной цели зависит от следующих целей:  $GN_{11}$ ,  $GN_{121}$ ,  $GN_{21}$ ,  $GN_{122}$ ,  $GN_{1231}$  – своевременное выполнение погрузочно-разгрузочных работ и  $GN_{41}$ . Сценарий представлен на рис. 5.

Логическая функция  $VM_{123}$  неуспеха события достижения цели  $GN_{123}$ :

$$\begin{aligned} GN_{123} &= GN_{11} \vee GN_{121} \vee GN_{21} \vee \\ &\vee GN_{122} \vee GN_{1231} \vee GN_{41}. \end{aligned}$$





**Рис. 5.** Модель сценариев рисков недостижения целей, связанных со стратегической целью грузового порта

**Fig. 5.** Model of scenarios of risks of failure to achieve goals associated with the strategic goal of the cargo port

Соответствующая ей В-модель ( $LM_{123}$ ):

$$\begin{aligned}
 P\{GN_{123}=0\} = & (P\{GN_{11}=0\} + [P\{GN_{121}=0\} \times \\
 & \times (1 - P\{GN_{11}=0\}) + [P\{GN_{21}=0\} \times \\
 & \times (1 - P\{GN_{11}=0\})(1 - P\{GN_{121}=0\}) + \\
 & + (P\{GN_{122}=0\}(1 - (P\{GN_{11}=0\} \times \\
 & \times (1 - [P\{GN_{121}=0\}](1 - P\{GN_{21}=0\})) + \\
 & + [P\{GN_{1231}=0\}(1 - P\{GN_{11}=0\}) \times \\
 & \times (1 - P\{GN_{121}=0\}](1 - P\{GN_{21}=0\}) + \\
 & + [1 - P\{GN_{122}=0\}) + P\{GN_{41}=0\}) \times \\
 & \times (1 - [P\{GN_{1231}=0\}]).
 \end{aligned}$$

В-модель  $LM_{12}$  после подстановки данной В-модели ( $LM_{123}$ ) и упрощения выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned}
 P\{GN_{12}=0\} = & (P\{GN_{11}=0\} + [P\{GN_{11}=0\}-1] \times \\
 & \times (-P\{GN_{121}=0\}) + [P\{GN_{121}=0\}-1] \times \\
 & \times (P\{GN_{122}=0\} + [(P\{GN_{11}=0\}-1) \times \\
 & \times P\{GN_{121}=0\} - (P\{GN_{11}=0\} - \\
 & - [P\{GN_{11}=0\}-1] (P\{GN_{121}=0\}-1) \times \\
 & \times [P\{GN_{21}=0\} - P\{GN_{11}=0\}-1] \times \\
 & \times P\{GN_{122}=0\}) - (P\{GN_{11}=0\}-1) \times \\
 & \times (P\{GN_{21}=0\}-1) P\{GN_{121}=0\}-1) \times
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \times (P\{GN_{122}=0\}-1)(P\{GN_{1231}=0\}- \\
 & - (P\{GN_{1231}=0\}-1)(P\{GN_{41}=0\})).
 \end{aligned}$$

Рассматривая деятельность грузового порта в стратегическом аспекте, т. е. с точки зрения выявления и мониторинга риска недостижения стратегической цели и принятию мер для его минимизации, подходит описанная выше ЛВ-модель функционирования грузового порта. Для численной оценки вероятностей недостижения более мелких целей, оказывающих непосредственное влияние на комплексную цель функционирования грузового порта наилучшим образом подходит технология имитационного моделирования, позволяющая собирать статистику полученных данных и на основе этого оценивать вероятности достижения отдельных целей [17].

## Результаты и их обсуждение

Исходя из возможности имитационного моделирования учитывать фак-

торы стохастического характера, разработанная и описанная выше ЛВ-модель риска недостижения грузовым портом стратегической цели была дополнена помимо обозначенных ранее субъектов и объектов-целей внешними случайными факторами влияния. Для функционирования грузового порта это в первую очередь метеорологические факторы: ледостав, скорость ветра и наличие тумана [18, 19]. Обозначим их соответствующими логическими переменными  $EF_1$ ,  $EF_2$  и  $EF_3$ . Далее можно

дополнить данный список факторов, выявив не только помехи функционированию порта, связанные с погодными условиями, но и с взаимодействием с контрагентами и т.п., предложить более разветвленную классификацию, однако на сегодняшний момент стоит задача представления механизма взаимодействия логико-вероятностного и имитационного моделирования. На рис. 6 представлена общая гибридная ЛВ-модель риска недостижения грузовым портом стратегической цели.

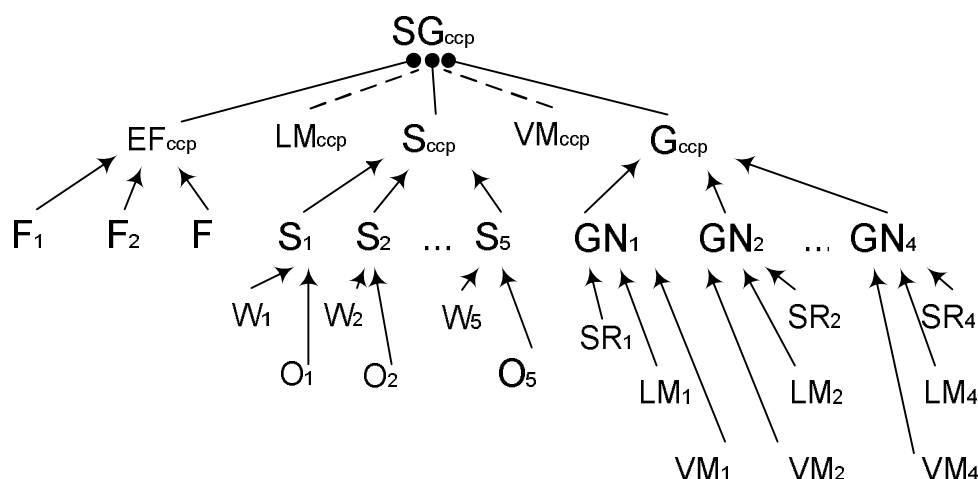


Рис. 6. Гибридная ЛВ-модель риска недостижения стратегической цели грузового порта

Fig. 6. Hybrid LP-model of the risk of failure to achieve the strategic goal of the cargo port

По сути представленная гибридная модель объединяет в себе несколько ЛВ-моделей. В рассматриваемом случае гибридная модель представлена двумя концептуальными ЛВ-моделями и одной сценарной. В качестве концептуальных составляющих выделены субъекты ( $S_{csr}$ ) и внешние случайные факторы ( $EF_{csr}$ ), объекты-цели ( $G_{csr}$ ) представлены сценарной ЛВ-моделью. Отличия концептуальных моделей от сценарных в данном случае состоят в том,

что ЛВ-модель риска каждого концептуального процесса или явления развития является Л-объединением влияющих событий (факторов, субъектов), которые не являются количественными характеристиками. Их риски как событий, ведущих к снижению эффективности функционирования грузового порта, следует оценивать по экспертной информации.

Вербально ЛВ-модель риска каждой концептуальной составляющей функци-

онирования грузового порта формулируется так: увеличение риска приостановки функционирования грузового порта происходит ИЛИ из-за любого одного фактора, ИЛИ из-за любых двух факторов, ..., ИЛИ из-за всех факторов.

Л-модель риска приостановки функционирования грузового порта в связи с наличием внешних случайных факторов:

$$EF_{ccp} = EF_1 \vee EF_2 \vee EF_3.$$

В-модель риска приостановки функционирования грузового порта в связи с наличием внешних случайных факторов:

$$P\{EF_{ccp}=0\}=P\{EF_1=0\}+P\{EF_2=0\} \times (1 - P\{EF_1=0\})+P\{EF_3=0\} \times (1 - P\{EF_1=0\})(1-P\{EF_2=0\}).$$

При введении в модель концептуальной ЛВ-модели для внешних случайных факторов необходимо скорректировать

логическую и вероятностную модели риска недостижения стратегической цели грузового порта:

$$SG_{ccp} = S_{ccp} \wedge G_{ccp} \wedge EF_{ccp};$$

$$P\{SG_{ccp}=0\}=P\{S_{ccp}=0\}+P\{SG_{ccp}=0\} \times (1-P\{S_{ccp}=0\})+P\{EF_{ccp}=0\} \times (1-P\{S_{ccp}=0\})(1-P\{G_{ccp}=0\}).$$

Построенные ЛВ-модели риска недостижения стратегической цели грузового порта и сформулированные логические и вероятностные модели описывают взаимосвязь событий - рисков ситуаций, что является как входной информацией для разработанной имитационной модели (рис.7 - 8), так и инструментарием интерпретации результатов экспериментов с имитационной моделью.

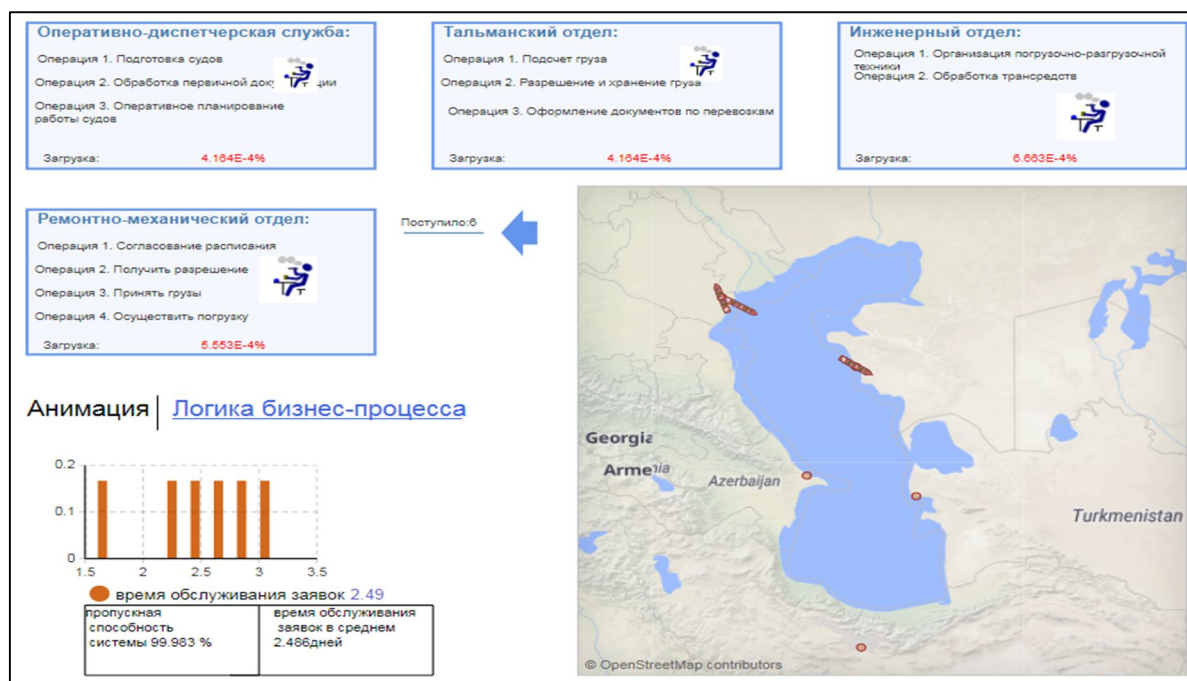


Рис. 7. Имитационная модель оценки рисков грузового порта

Fig. 7. Simulation model for risk assessment of a cargo port

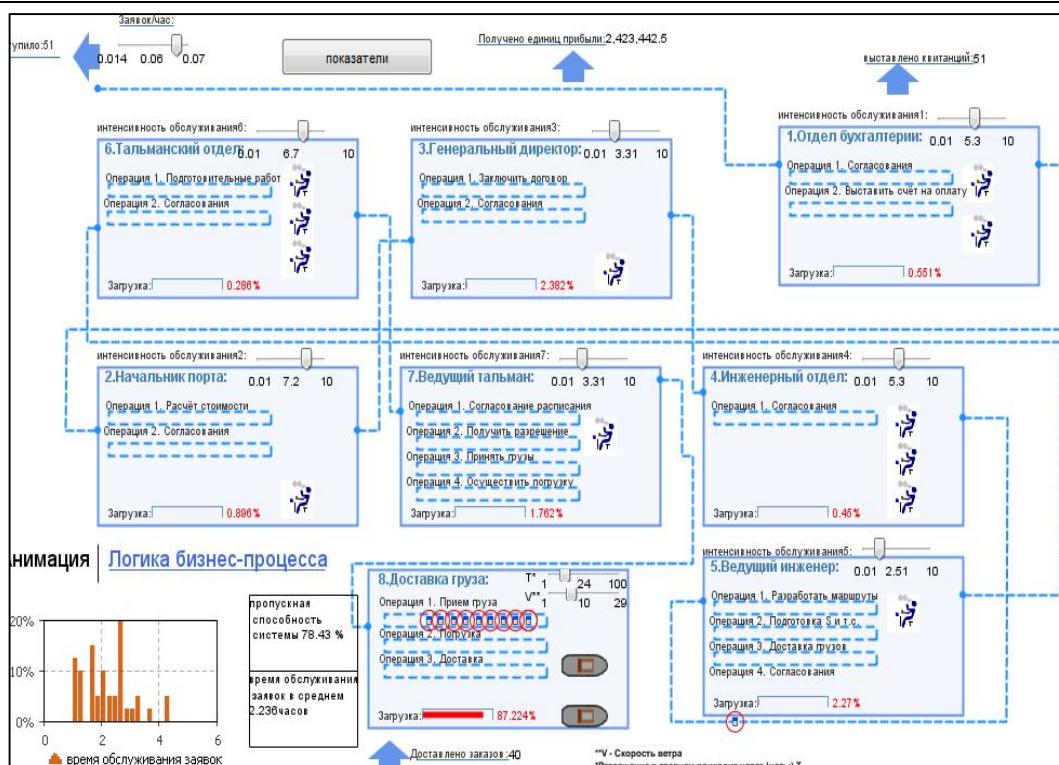


Рис. 8. Имитационная модель оценки рисков грузового порта (Анимация в динамике)

Fig. 8. Simulation model of risk assessment of a cargo port (Animation in dynamics)

Объединение принципов логико-вероятностного и имитационного моделирования, а именно возможность осуществления некой «игры» с параметрами имитационной модели - корректировки входных параметров, вкупе с детальной проработкой логических и вероятностных взаимосвязей отдельных целей порта, позволило получить обоснованную оценку риска недостижения стратегической цели и использовать её в качестве основания для принятия конкретных управленческих решений [20].

## Выводы

По результатам сформулированной цели исследования и поставленной задачи была разработана гибридная логико-вероятностная модель риска недо-

стижения стратегической цели грузового порта с учетом использования в качестве оценочного инструментария имитационного моделирования, а также сформулированы логическая и вероятностная модели с учетом влияния на порт внешних случайных факторов. Данные модели в совокупности представляют собой инструментарий и механизм, позволяющий комплексно оценить вероятность наступления рискованных ситуаций в порту, интерпретировать результаты имитационного моделирования и выявить возможные причины наступления нежелательных событий с целью их устранения и предотвращения, а значит, повысит эффективность управления за счет формирования обоснованных управленческих решений.

### Список литературы

1. Недосекин А.О., Абдулаева З.И. Управление корпоративными рисками и шансами. СПб., 2010. 125 с.
2. Грищенко О. В. Анализ и диагностика финансово-хозяйственной деятельности предприятия. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. 112 с.
3. Петров А.Н. Стратегический менеджмент. СПб.: Питер, 2005. 496 с.
4. Вяцкова Н.А. Классификация методов анализа и оценки рисков // Проблемы экономики и менеджмента. 2015. № 9 (49). С.15-25.
5. Балдин К.В. Управление рисками. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2012. 511 с.
6. Соложенцев Е. Д. Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике. 2-е изд. СПб.: Бизнес-пресса, 2006. 560 с.
7. Соложенцев Е. Д. Технологии управления риском в структурно-сложных системах. СПб.: ГУАП, 2013. 435 с.
8. Solozhentsev E.D., Mityagin S. Logical and Probabilistic Risk Models for Assessment and Analysis of the Drug Addiction Problem in a Region // International Journal of Risk Assessment and Management. 2015. Vol. 18. №1. P. 1-17.
9. Карасев В.В., Соложенцев Е.Д. Гибридные логико-вероятностные модели для управления социально-экономической безопасностью // Труды СПИИРАН. 2016. № 5 (48). С. 124-149.
10. Соложенцев Е.Д., Алексеев В.В., Карасев В.В. Мониторинг и управление процессом кредитования банка с использованием логико-вероятностных моделей риска // Проблемы анализа риска. 2013. № 6. С. 78 – 87.
11. Антохина Ю.А., Баранов А.В. Имитационное моделирование как инструмент снижения риска // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2014. №5 (89). С. 55 -59.
12. Байрамукова Е.И. Использование метода имитационного моделирования при оценке рисков и оптимизации процессов управления на промышленных предприятиях // Изв. Рос. гос. пед. ун-та А.И. Герцена. 2008. №85. С. 315-320.
13. Марченко Р. С. Имитационное моделирование сценариев инвестиционного проекта с учетом межфакторной взаимосвязи ключевых параметров // Сборник научных трудов по материалам III Международной научно-практической молодежной конференции «Раскрой свой научный потенциал». СПб., 2017. С. 69-75.
14. Попитченко М.А. Использование системы менеджмента качества для управления рисками в порту // ТДР. 2017. № 4. С. 54-56.
15. Григорьев О.В., Бондарева И. О., Латыпова Э.А. Управление стратегическими рисками грузового порта с применением имитационного моделирования // Вестник АГТУ Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. 2013. №1. С. 155 - 162.

16. Григорьев О. В., Бондарева И. О., Латыпова Э. А. Стратегическое управление грузовым портом на основе оценки рисков // Вестник АГТУ. Сер. Управление, вычислительная техника и информатика. 2015. № 1. С. 90-97.

17. Бондарева И.О., Латыпова Э.А. Имитационное моделирование как инструмент комплексной оценки стратегических рисков логистического предприятия // Инженерный вестник Дона. 2017. Т. 44. №1 (44). С. 50.

18. Проталинский О.М., Ханова А.А., Григорьева И.О. Теоретико-множественная модель процессов грузового порта // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2009. № 2. С. 83-89.

19. Ханова А.А., Пономарева А.С. Управление затратами грузового порта на основе функционально-стоимостного анализа // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2011. № 3 (161). С. 116-119.

20. Яковлева Я.А., Бондарева И.О., Ханова А.А. Имитационно-аналитическая система лоцманской информационной поддержки морского порта // Сборник научных трудов по материалам IX Всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2019). 16–18 октября 2019 г. Екатеринбург, 2019. С. 592-597.

## References

1. Nedosekin A.O., Abdulaeva Z.I. *Upravlenie korporativnymi riskami i shansami* [Corporate Risk and Opportunity Management]. Saint Petersburg, 2010. 125 p. (In Russ.).

2. Grishchenko O.V. *Analiz i diagnostika finansovo-khozyaistvennoi deyatel'nosti predpriyatiya* [Analysis and diagnostics of financial and economic activities of the enterprise]. Taganrog, 2000. 112 p. (In Russ.).

3. Petrov A.N. *Strategicheskii menedzhment* [Strategic Management]. Saint Petersburg, Piter Publ., 2005. 496 p. (In Russ.).

4. Vyatskova N.A. Klassifikatsiya metodov analiza i otsenki riskov [Classification of analysis and risk assessment methods]. *Problemy ekonomiki i menedzhmenta = Problems of Economics and Management*, 2015, no. 9 (49), pp.15-25 (In Russ.).

5. Baldin K.V. *Upravlenie riskami* [Risk Management]. Moscow, UNITY-DANA Publ., 2012. 511 p. (In Russ.).

6. Solozhentsev E. D. *Stsenarnoe logiko-veroyatnostnoe upravlenie riskom v biznese i tekhnike* [Scenario logical and probabilistic risk management in business and technology]. St. Petersburg, Biznes-prensa Publ., 2006. 560 p. (In Russ.).

7. Solozhentsev E. D. *Tekhnologii upravleniya riskom v strukturno-slozhnykh sistemakh* [Risk management technologies in structurally complex systems]. St.Petersburg, GUAP Publ., 2013. 443 p. (In Russ.).

8. Solozhentsev E.D., Mityagin S. Logical and Probabilistic Risk Models for Assessment and Analysis of the Drug Addiction Problem in a Region. *International Journal of Risk Assessment and Management*, 2015, vol. 18, no.1, pp. 1-17.

9. Karasev V.V., Solozhentsev E.D. Gibridnye logiko-veroyatnostnye modeli dlya upravleniya sotsial'no-ekonomicheskoi bezopasnost'yu [Hybrid logical and probabilistic models for managing socio-economic security]. *Trudy SPIIRAN = Transactions of SPIIRAS*, 2016, no. 5 (48), pp. 124-149 (In Russ.).

10. Solozhentsev E.D., Alekseev V.V., Karasev V.V. Monitoring i upravlenie protsessom kreditovaniya banka s ispol'zovaniem logiko-veroyatnostnykh modelei riska [Monitoring and management of the bank lending process using logical and probabilistic risk models]. *Problemy analiza riska = Problems of Risk Analysis*, 2013, no. 6, pp. 78 - 87 (In Russ.).

11. Antokhina Yu.A., Baranov A.V. Imitatsionnoe modelirovanie kak instrument snizheniya riska [Simulation as a tool to reduce risk]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta = News of St. Petersburg State University of Economics*, 2014, no. 5 (89), pp. 55-59 (In Russ.).

12. Bayramukova E.I. Ispol'zovanie metoda imitatsionnogo modelirovaniya pri otsenke riskov i optimizatsii protsessov upravleniya na promyshlennykh predpriyatiyakh [The use of simulation modeling in risk assessment and optimization of management processes in industrial enterprises]. *Izv. Ros. gos. ped. un-ta A.I. Gertsena = Izv. Grew up. State Ped University of A.I. Herzen*, 2008, no.85, pp. 315-320 (In Russ.).

13. Marchenko R. S. [Simulation of investment project scenarios taking into account the inter-factor relationship of key parameters]. *Sbornik nauchnykh trudov po materialam III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi molodezhnoi konferentsii "Raskroi svoi nauchnyi potentsial"*. [Collection of scientific papers on the materials of the III International scientific-practical youth conference "Uncover your scientific potential"]. St. Petersburg, 2017, pp. 69-75 (In Russ.).

14. Popitchenko M.A. Ispol'zovanie sistemy menedzhmenta kachestva dlya upravleniya riskami v portu [Use of a quality management system for risk management in a port]. *TDR = TDR*, 2017, no. 4, pp. 54-56 (In Russ.).

15. Grigoriev O.V., Bondareva I.O., Latypova E.A. Upravlenie strategicheskimi riskami грузового порта s primeneniem imitatsionnogo modelirovaniya [Strategic risk management of a cargo port using simulation modeling]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika = Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computing and Computer Science*, 2013, no.1, pp. 155 - 162 (In Russ.).

16. Grigoryev O. V., Bondareva I. O., Latypova E. A. Strategicheskoe upravlenie gruzovym portom na osnove otsenki riskov [Strategic management of a cargo port based on risk assessment]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika = Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computing and Computer Science*, 2015, no. 1, pp. 90-97 (In Russ.).

17. Bondareva I.O., Latypova E.A. Imitatsionnoe modelirovanie kak instrument kompleksnoi otsenki strategicheskikh riskov logisticheskogo predpriyatiya [Simulation as a tool for a comprehensive assessment of the strategic risks of a logistics enterprise]. *Inzhenernyi vestnik Dona = Engineering Bulletin of the Don*, 2017, vol. 44, no. 1 (44), p. 50 (In Russ.).

18. Protalinsky O.M., Khanova A.A., Grigorieva I.O. Teoretiko-mnozhestvennaya model' protsessov gruzovogo porta [Theoretical-multiple model of cargo port processes]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika = Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computing and Computer Science*, 2009, vol. 2, pp. 83-89 (In Russ.).

19. Khanova A.A., Ponomareva A.S. Upravlenie zatratami gruzovogo porta na osnove funktsional'no-stoimostnogo analiza [Cargo port cost management based on functional and cost analysis]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Tekhnicheskie nauki = News of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Technical Sciences*, 2011, no. 3(161), pp. 116-119 (In Russ.).

20. Yakovleva Y.A., Bondareva I.O., Khanova A.A. [Simulation-analytical system of pilot information support for the seaport]. *Sbornik nauchnykh trudov po materialam IX Vse-rossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii po imitatsionnomu modelirovaniyu i ego primeneniyu v nauke i promyshlennosti «Imitatsionnoe modelirovanie. Teoriya i praktika» (IMMOD-2019)* [Collection of scientific papers on the materials of the IX All-Russian scientific-practical conference on simulation modeling and its application in science and industry "Simulation. Theory and Practice" (IMMOD-2019)]. Yekaterinburg, 2019, pp. 592-597 (In Russ.).

---

### Информация об авторе / Information about the Author

**Бондарева Ирина Олеговна**,  
кандидат технических наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный  
технический университет»,  
г. Астрахань, Российская Федерация,  
e-mail: i.o.bondareva@gmail.com

**Irina O. Bondareva**, Cand of Sci. (Engineering),  
Associate Professor, Astrakhan State Technical  
University, Astrakhan, Russian Federation,  
e-mail: i.o.bondareva@gmail.com